

Pemodelan Dispersi Debu Industri Semen di Kabupaten Tuban Jawa Timur

Ardhi Rahmadhani, Joni Hermana, dan Abdu Fadli Assomadi

Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: hermana@enviro.its.ac.id

Abstrak—Aktivitas industri semen menghasilkan emisi berupa debu yang berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan. Persebaran debu di lingkungan dipengaruhi oleh faktor meteorologi. Dalam penelitian telah dianalisis kuantitas emisi debu dari cerobong industri semen dan pola sebarannya pada periode rata-rata musim kemarau dan musim hujan. Pola dispersi debu di area sekitar industri diestimasi menggunakan persamaan umum model Gauss. Karakteristik udara menggunakan data iklim dari stasiun meteorologi Juanda, periode pengamatan tahun 2016 sampai tahun 2017. Perhitungan konsentrasi ambien dilakukan pada setiap titik dengan perubahan 100 meter searah angin (sumbu-x) dan arah tegak lurus arah angin (sumbu-y) dari masing-masing titik cerobong. Hasil ini kemudian dianalisis dan digambarkan dalam peta kontur konsentrasi yang dioverlay pada peta wilayah penelitian. Hasil penelitian menunjukkan pola angin pada kondisi atmosfer rata-rata musim kemarau (bulan April hingga September) dominan ke arah timur dengan kondisi kelas stabilitas atmosfer B diperoleh konsentrasi sebaran debu tertinggi adalah $444,26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sedangkan pola angin pada kondisi atmosfer rata-rata musim hujan (bulan Oktober hingga Maret) dominan ke arah barat dengan kondisi kelas stabilitas atmosfer C diperoleh konsentrasi sebaran debu tertinggi adalah $547,24 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Kata Kunci—Debu, Dispersi, Gauss, Majemuk, Semen.

I. PENDAHULUAN

EMISI dominan yang dihasilkan dari proses pembuatan semen adalah partikel berupa debu dan gas seperti SO_2 , NO_2 [1]. Debu merupakan partikulat padat yang berukuran antara 1-100 mikron [2]. Pencemaran udara dapat berakibat negatif terhadap lingkungan, antar lain dampak fisik atmosfer, ekonomi, vegetasi, flora fauna, kesehatan manusia, dan estetika [3]. Hasil penelitian terdahulu menunjukkan paparan debu terhirup berkorelasi dengan gangguan fungsi paru serta probabilitas terjadinya gangguan fungsi paru pada responden di tempat kerja [4].

Berdasarkan data meteorologi Kabupaten Tuban tahun 2017 kecepatan angin berkisar antara 1,1-3 m/s di pagi hari dan 3-3,9 m/s pada sore hari [5]. Kondisi kecepatan angin dan kekuatan radiasi serta lama penyinaran yang cukup tinggi di Kabupaten Tuban, menyebabkan suhu udara tinggi dan menyebabkan turbulensi mekanis arah vertikal lebih baik, sehingga menyebabkan penekanan lapisan inversi ke level yang lebih tinggi dan area mixing height lebih luas [6]. Melalui model dispersi, dapat diperkirakan konsentrasi polutan di berbagai titik berdasarkan kondisi

meteorologi daerah bersangkutan menggunakan perhitungan numeris [7]. Gaussian plume model adalah model matematika yang digunakan untuk mempresentasikan proses dispersi polutan di udara seperti NO_x , SO_x dan debu terutama dari sumber titik seperti dispersi di sekitar cerobong asap untuk mengestimasi impact polutan non-reaktif dari sumber titik atau garis [1] [8] [9].

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pola persebaran emisi berupa debu berdasarkan model sebaran Gauss pada periode musim hujan dan kemarau serta mengetahui nilai konsentrasi maksimum pencemar berupa debu berdasarkan model sebaran Gauss yang berasal dari sumber industri semen.

II. METODE PENELITIAN

A. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan referensi yang diperoleh dari didapatkan dari jurnal, *text book*, dan sumber lainya yang berkaitan dengan dispersi polutan berupa debu di udara.

Data sekunder yang digunakan untuk analisis sebaran polutan adalah sebagai berikut:

1. Data emisi debu dari cerobong industri semen Kabupaten Tuban dalam kurun waktu satu bulan terakhir tahun 2016.
2. Data kondisi meteorologi Kabupaten Tuban berupa data harian kecepatan angin dalam satu tahun terakhir (2016-2017) yang berasal dari BMKG Juanda.
3. Data pengukuran kualitas udara ambien di sekitar wilayah industr semen.
4. Data posisi dan level ketinggian titik penerima polutan yang berasal dari *Googl Earth*.

Data yang digunakan untuk analisis persebaran debu adalah rata-rata beban emisi dalam satu bulan dan kondisi rata-rata meteorologi dalam satu tahun.

B. Metode Analisis

1. Identifikasi Faktor Meteorologi

Identifikasi terhadap faktor meteorologi dilakukan dengan cara menghitung nilai rata-rata kecepatan angin, arah angin serta temperatur udara pada periode bulan hujan (Oktober-Maret) dan periode bulan kemarau (Maret-September) hasil pengukuran BMKG Juanda.

2. Penentuan Lokasi Titik Penerima Sebaran Polutan

Lokasi titik penerima sebaran polutan disusun dalam jarak antar masing-masing titik lokasi adalah 100 meter searah arah angin dan 100 meter tegak lurus arah angin dengan ketinggian 1,5 meter dari permukaan tanah.

3. Perhitungan Konsentrasi Sebaran Polutan

Metode perhitungan sebaran polutan dari sumber cerobong digunakan rumus *Gaussian Plume Model*.

$$C(x,y,z;H) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (1)$$

Keterangan :

C : konsentrasi polutan pada suatu titik (x,y,z) , dalam gm^{-3}

Q : laju emisi, dalam gs^{-1}

σ_y : koefisien penyebaran horisontal (y), dalam m

σ_z : koefisien penyebaran vertikal (z), dalam m

u : kecepatan angin rata-rata pada ketinggian cerobong, dalam ms^{-1}

x : keupulan horisontal dari sumber pencemar searah arah angin, dalam m

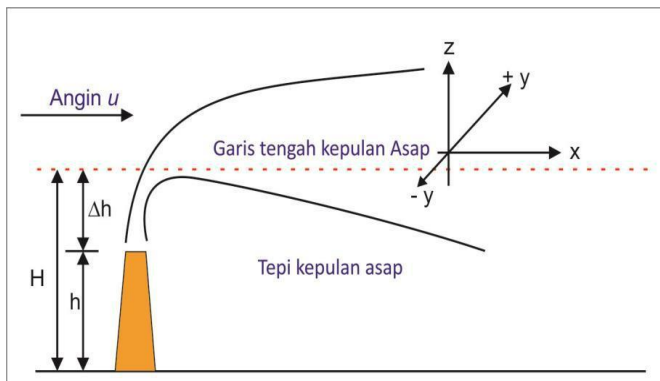
y : keupulan horisontal tegak lurus arah angin, dalam m

z : keupulan vertikal dari permukaan, dalam m

H : ketinggian efektif ($H=h+\Delta h$), dalam m

h : ketinggian cerobong, dalam m

Δh : tinggi keupulan di atas cerobong, dalam m



Gambar 1. Ilustrasi Model Penyebaran Polutan dari Sumber Titik Berdasar Sebaran Gauss

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Sumber Emisi

Sumber emisi berasal dari aktivitas industri semen yang dikeluarkan melalui cerobong. Sumber emisi berasal dari unit pengolahan yang berjumlah enam cerobong dengan karakteristik yang berbeda. Profil masing-masing cerobong dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1.

Profil Cerobong Unit Pengolahan 1

Parameter	Cerobong A	Cerobong B	Cerobong C
Tinggi Cerobong (m)	108,8	29,65	43,5
Diameter (m)	4,2	2	2,55
Kecepatan alir (m/s)	12,5	7	10
Suhu Cerobong (C)	130	80	75
Elevasi sumber (mdpl)	33	33	33

Konsentrasi Emisi Rata2 (mg/m^3)	4,68	7,9	24,46
Beban emisi (g/s)	0,81	0,17	1,25

B. Analisis Data Meteorologi

1. Suhu Udara

Suhu udara rata-rata bulanan pada periode musim hujan (Oktober-Maret) di Kabupaten Tuban adalah 27,4 C sedangkan suhu udara rata-rata bulanan pada periode musim kemarau (April-September) adalah 28,1 C.

2. Arah dan Kecepatan Angin

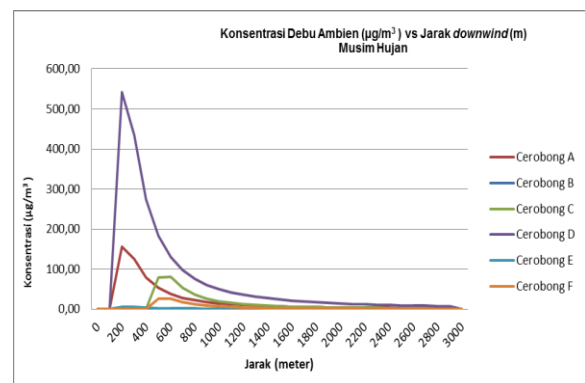
Kecepatan angin rata-rata bulanan di Kabupaten Tuban pada musim hujan adalah 3,6 m/s ke arah Timur sementara pada musim kemarau kecepatan angin rata-rata adalah 3,8 m/s ke arah Barat.

3. Stabilitas Atmosfer

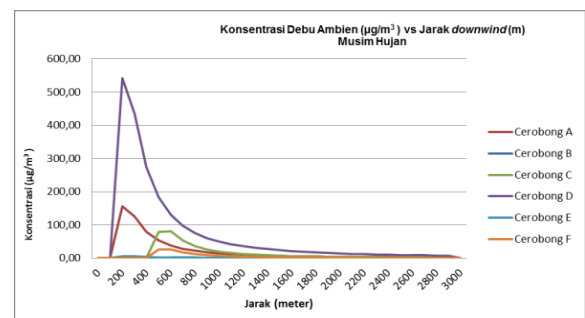
Kemantapan (stabilitas) udara Pasquill secara periodik di Kabupaten Tuban pada musim kemarau dan musim hujan dari hasil analisis stabilitas atmosfer diperoleh bahwa stabilitas mempunyai variasi antara B (tidak stabil) pada musim kemarau dan stabilitas C (sedikit stabil) pada musim hujan.

C. Perhitungan Konsentrasi Sebaran Polutan

Perhitungan nilai konsentrasi dilakukan pada titik penerima yang telah direncanakan. Perhitungan konsentrasi emisi berdasarkan persamaan Gauss. Perhitungan dilakukan pada masing-masing sumber emisi terhadap titik penerima yang selanjutnya nilai konsentrasi dari setiap sumber ke titik resptor akan diakumulasi.



Gambar 2. Grafik Sebaran Konsentrasi Debu Pada Musim Hujan Pada Centerline ($y = 0$ m)



Gambar 3. Grafik Sebaran Konsentrasi Debu Pada Musim Kemarau Pada Centerline ($y = 0$ m)

Pada Gambar 2 dan Gambar 3 dapat dilihat bahwa konsentrasi debu yang diterima oleh titik penerima pada musim kemarau dari setiap sumber titik sumber cenderung lebih rendah dibandingkan dengan konsentrasi debu yang diterima oleh titik penerima pada musim hujan. Hal ini disebabkan karena perbedaan faktor cuaca yang meliputi suhu, kecepatan angin dan penyinaran matahari yang berbeda antara musim hujan dan kemarau. Faktor cuaca berpengaruh terhadap penentuan kelas stabilitas yang digunakan sebagai koefisien dalam perhitungan model. Selain itu faktor ketinggian titik penerima dari muka tanah juga terdapat perbedaan antara wilayah penerima emisi musim hujan (sisi timur industri) dan penerima emisi musim kemarau (sisi barat industri). Tinggi cerobong berpengaruh terhadap nilai sebaran polutan. Semakin tinggi cerobong maka sebaran emisi akan lebih meluas hal ini dikarenakan semakin tinggi suatu tempat maka tekanan udara ke bawah akan semakin berkurang serta angin yang bergerak semakin cepat sehingga menyebabkan emisi debu dapat terdispersi cukup luas [10]. Sebaran polutan dengan konsentrasi tertinggi pada musim hujan dan kemarau terdapat pada jarak kurang dari 1000 meter dari sumber pencemar.

Sebaran debu yang bersumber dari setiap cerobong menghasilkan konsentrasi debu tertinggi pada posisi koordinat yang berbeda. Nilai akumulasi sebaran debu tertinggi dihitung secara simultan dari seluruh sumber pada musim hujan terdapat pada titik koordinat (598277,4 m; 9246348 m) dengan konsentrasi $547,24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sedangkan pada musim kemarau terdapat pada titik koordinat (597477,4 m; 9246348 m) dengan konsentrasi $444,26 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hasil perhitungan konsentrasi sebaran debu tertinggi yang bersumber dari setiap cerobong terdapat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3.

Konsentrasi Sebaran Debu Tertinggi dari Setiap Sumber Pada Musim Hujan

Sumber Emisi	Konsentrasi Debu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Koordinat	
		X (m)	Y (m)
Cerobong A	132,17	597477,4	9246548
Cerobong B	0,0000135	597977,4	9246448
Cerobong C	79,94	598277,4	9246548
Cerobong D	542,18	597877,4	9246348
Cerobong E	5,74	597877,4	9246148
Cerobong F	26,44	598277,4	9246348

Tabel 4.

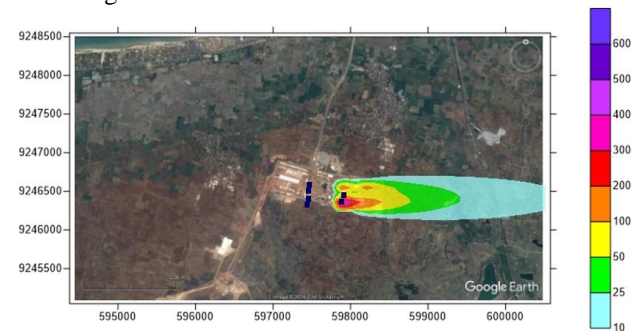
Konsentrasi Sebaran Debu Tertinggi dari Setiap Sumber Pada Musim Kemarau

Sumber Emisi	Konsentrasi Debu ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Koordinat	
		X (m)	Y (m)
Cerobong A	155,32	597477,4	9246548
Cerobong B	13,81	597477,4	9246448
Cerobong C	82,46	597777,4	9246548
Cerobong D	432,35	597477,4	9246348
Cerobong E	5,86	597477,4	9246348
Cerobong F	27,27	597777,4	9246348

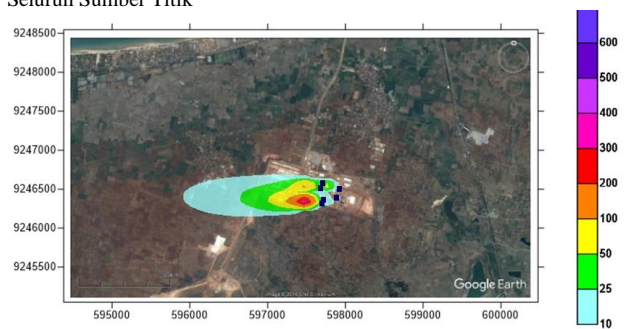
D. Kontur Dispersi Polutan

Gambar kontur dispersi hasil *overlay* dengan peta dari *Google Earth* dapat dilihat bahwa sebagian besar debu jatuh di wilayah sekitar industri. Penggambaran kontur konsentrasi debu

di udara ambien hasil *overlay software Surfer 10* dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6. Skala konsentrasi pada gambar kontur digambarkan melalui gradasi warna. Konsentrasi rendah hingga tinggi digambarkan dengan warna biru muda hingga warna ungu.



Gambar 4. Kontur Akumulasi Konsentrasi Emisi Periode Musim Hujan dari Seluruh Sumber Titik



Gambar 5. Kontur Akumulasi Konsentrasi Emisi Periode Musim Kemarau dari Seluruh Sumber Titik

Dari Gambar 4 dan Gambar 5 dapat dilihat bahwa polutan tersebar tidak jauh dari sumber emisi. Sebaran debu pada tinggi 1,5 meter dari permukaan tanah tersebar lebih luas di musim hujan.

E. Tingkat Error Perhitungan Model

Tingkat *error* perhitungan dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan model dan pengukuran lapangan. Nilai tingkat *Error* perhitungan model dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5.

Tingkat Error Perhitungan Model

Lokasi	Konsentrasi Ambien (mg/Nm^3)	Hasil Perhitungan (mg/Nm^3)	Tingkat Error
Balai Desa Sawir	0,077	0,061	21%
Premix Unit I	0,058	0,042	27%
Plant Site	0,051	0,010	80%

IV. KESIMPULAN

1. Sebaran emisi berupa debu pada musim hujan dan musim kemarau paling tinggi cenderung terkumpul didekat sumber emisi dengan jarak <1000 m. Pola dispersi mengikuti arah angin dan sensitif terhadap stabilitas atmosfer.

2. Konsentrasi maksimum debu selama enam bulan pada periode musim kemarau dengan kondisi meteorologi rata-rata kecepatan angin adalah 3,8 m/s ke arah Barat serta suhu udara lingkungan 28,1 C terletak pada titik koordinat (597477,4 m; 9246348 m) dan elevasi muka tanah sebesar 28 mdpl adalah 444,26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasi maksimum debu selama enam bulan pada periode musim hujan dengan kondisi meteorologi rata-rata kecepatan angin adalah 3,6 m/s ke arah Timur serta suhu udara lingkungan 27,4 C. terletak pada titik koordinat (597877,4 m; 9246348 m) dan elevasi tanah 27 mdpl adalah 547,24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Emisi debu maksimum pada musim kemarau jatuh di wilayah industri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Joni Hermana dan Bapak Abdu Fadli Assomadi atas bimbingan yang telah diberikan kepada saya selama proses penyusunan laporan tugas akhir maupun paper serta Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia yang telah memberikan dukungan finansial melalui Beasiswa Bidik Misi tahun 2013-2017.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Suryani, S., Gunawan dan Upe, "Model Sebaran Polutan SO₂ pada Cerobong Asap PT Semen Tonasa," in *Kongres dan Seminar Nasional Badan Koordinasi Pusat Studi Lingkungan Hidup se-Indonesia ke XX*, 2010.
- [2] R. dan Hanley, "Aerosol Handbook Measurement, Dosimetry and Health Effects CRC press," 2005.
- [3] H. J. Mukono, *Prinsip Dasar Kesehatan Lingkungan Edisi Kedua*. Surabaya: Airlangga University Press, 2006.
- [4] S. Yulaekah, "Paparan Debu Terhirup dan Gangguan Fungsi Paru pada Pekerja Industri Batu Kapur," 2007.
- [5] Meteotrend, "Perubahan Cuaca di Tuban," *meteotrend.com*, 2017. [Online]. Available: url:<http://id.meteotrend.com/forecast/id/tuban>.
- [6] A. Visscher, *Air Dispersion Modelling*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc. H. Poor, 2014.
- [7] H. Hassan, "Application of Line Source Air Quality Model to The Study of Traffic Carbon Monoxide in Brunei Darussalam," *ASEAN J. Sci. Technol. Dev.*, vol. 17, 2000.
- [8] A. S.P., "Air Pollution Meteorology and Dispersion. Department of Marine Earth and Atmospheric," 1999.
- [9] J. Assomadi, A.F., Widodo, B., Hermana, "The Kinetic Approach of NO_x Photoreaction Related to Ground Measurement of Solar Radiation in Estimates of Surface Ozone Concentration," *Int. J. ChemTech Res.*, vol. 9, no. 7, pp. 182–190, 2016.
- [10] T. Nauli, "Pola Sebaran Polutan Dari Cerobong Asap," in *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir P3TM-BATAN*, 2002.